

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE
DES CONDITIONS DE MILIEU SUR LA RÉPARTITION
DE L'AZOTE DANS LE SOL

I. — PRINCIPALES FORMES D'AZOTE OBTENUES PAR HYDROLYSE

J. DECAU

avec la collaboration technique de A. PACE

Station d'Agronomie et d'Enologie, 67, Boulevard Deltour, 31 - Toulouse
Institut national de la Recherche agronomique

1969

Annales agronomiques

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle, Paris-7^e



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES CONDITIONS DE MILIEU SUR LA RÉPARTITION DE L'AZOTE DANS LE SOL

I. — PRINCIPALES FORMES D'AZOTE OBTENUES PAR HYDROLYSE ⁽¹⁾

J. DECAU

avec la collaboration technique de A. PACE

Station d'Agronomie et d'Enologie, 67, Boulevard Deltour, 31 - Toulouse
Institut national de la Recherche agronomique

SOMMAIRE

Il est montré, par l'analyse de 92 sols ou horizons de sol, que la répartition des principales formes d'azote obtenues par hydrolyse (azote aminé, ammoniacal et insoluble), varie en fonction des conditions pédoclimatiques et culturales ainsi que, dans les profils, en fonction de la profondeur.

Ces facteurs interviennent principalement par leur action variable sur certains processus physiques (lessivage), physico-chimiques (adsorption et rétrogradation) et biologiques (organisation, humification, minéralisation) qui régissent la dynamique de l'azote dans le sol.

I. — INTRODUCTION

L'intérêt scientifique que présente l'étude de l'alimentation des plantes en azote et l'importance économique de cet élément en agriculture ont suscité de très nombreuses recherches. Un de leurs principaux objets a été l'étude de l'azote minéral du sol. En comparaison, l'azote organique, qui représente pourtant la plus grande partie de l'azote total, a retenu l'attention d'un plus petit nombre de chercheurs.

⁽¹⁾ Première partie d'une Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles soutenue à Clermont-Ferrand en 1967 (n° E 74).

La deuxième partie de cette étude paraîtra dans le n°1/1969 des Annales agronomiques.

Des difficultés analytiques ont longtemps limité les études dans ce domaine, et il a fallu attendre les techniques chromatographiques récentes pour donner un certain essor à ces études.

Depuis plus d'un demi-siècle cependant, des chercheurs ont essayé d'identifier et de doser les composés organiques azotés du sol. L'origine végétale de la matière organique du sol les a conduits à appliquer à ces composés les méthodes employées dans l'analyse des végétaux. Aussi, dans la plupart des travaux, la solubilisation des composés azotés a-t-elle été obtenue par hydrolyse acide. Après hydrolyse, deux voies analytiques ont été suivies : d'une part la scission des composés azotés en groupes plus ou moins identifiables à des substances connues, azote ammoniacal et aminé, azote basique, azote de l'humine (VAN SLYKE, 1911, 1912, 1915), d'autre part l'isolement de composés particuliers tels que l'arginine (SCHREINER et SHOREY, 1910), l'acide diaminopimélique (BREMNER, 1950) et l'N-acétyl-D-glucosamine (STEVENSON, 1956 a).

Ces deux types de travaux ont fourni de très nombreuses données. Ainsi, notamment, les techniques de fractionnement simple de la masse des composés azotés solubilisés par hydrolyse ont permis de montrer, dans de très nombreux milieux, la prédominance, par rapport aux autres formes d'azote, de l'azote inclus dans les acides aminés ; en même temps, les techniques d'isolement de corps particuliers permettaient l'identification et le dosage de composés azotés de plus en plus nombreux (STEVENSON, 1956 a).

Mais, si ces travaux ont fourni de nombreuses données analytiques, ils n'ont guère permis, pour la plupart, de relier la répartition des composés organiques azotés aux conditions dans lesquelles ces substances prennent naissance ou évoluent, soit parce que la distribution de l'azote organique dépend peu de ces conditions, soit parce que la faible précision des techniques et le nombre limité des milieux considérés dans chaque étude n'ont pas permis l'observation de telles relations. En vue d'accroître notre connaissance dans ce domaine et d'apporter de nouveaux éléments pour une meilleure compréhension du métabolisme azoté des sols, il nous a paru nécessaire d'entreprendre tout d'abord un travail d'exploration, une enquête en quelque sorte, aussi vaste que possible, afin de déterminer, dans des milieux bien définis, l'importance de leurs principales fractions azotées et la composition qualitative et quantitative de l'azote aminé, en relation avec les conditions pédoclimatiques et culturales.

A partir des observations ainsi recueillies, nous avons été naturellement conduit à rechercher les mécanismes par lesquels les conditions de milieu peuvent agir sur la répartition des composés azotés et, ainsi, à étudier tout particulièrement l'un de ces processus au cours d'essais de laboratoire.

Ce travail comprend trois parties : l'étude des principales fractions azotées obtenues par hydrolyse, l'analyse particulière de l'une de ces fractions et la recherche des modalités d'action d'un des facteurs naturels, l'aération, sur la répartition de l'azote. La présente publication traite de la première approche analytique, c'est-à-dire de l'étude des formes d'azote obtenues après hydrolyse.

Le rôle des caractères climatiques, pédologiques et cultureux de chacun des milieux étudiés a tout d'abord été examiné. Nous avons recherché ensuite par quel mécanisme ces facteurs peuvent agir sur l'équilibre de l'azote organique du sol et sur la dynamique de cet élément.

II. — MILIEUX ÉTUDIÉS ET TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

A. — MILIEUX ÉTUDIÉS

Quatre-vingt douze sols ou horizons de sols ont été choisis, qui diffèrent nettement entre eux par leur origine géographique, leur histoire culturale et par la fumure et les amendements reçus ; dans certains sols, des horizons successifs, de profondeur variable, ont été étudiés. A cette diversité de provenance et d'histoire culturale s'ajoute la diversité des conditions pédologiques rencontrées. Celles-ci ont pu être caractérisées et précisées grâce à la détermination de la teneur éventuelle en calcaire, du pH, de la composition granulométrique, de la teneur en matière organique et du rapport carbone/azote.

Ces divers dosages permettent de définir le type textural (MALTERRE et ALABERT, 1963) et, dans les profils, avec l'examen visuel des niveaux successifs, le type et la nature pédologiques des milieux (DUCHAUFOR, 1960).

Les principales données obtenues sont réunies dans le tableau 1 dans lequel figurent en outre le signe représentatif de chaque milieu et le groupe auquel il appartient.

B. — MÉTHODES DE DOSAGE

1. Détermination des principales formes d'azote du sol

Les milieux choisis ont été soumis à une hydrolyse chlorhydrique. Après comparaison de diverses conditions opératoires, les techniques suivantes ont été adoptées :

— Sols renfermant moins de 5 p. 100 de matière organique : 10 g de sol sont mis au contact de 60 ml d'acide chlorhydrique 6 N dans une fiole de 250 ml. Celle-ci est maintenue dans un autoclave à 120°C pendant 6 heures.

— Milieux riches en matière organique : la prise d'échantillon est diminuée, réduite même à 1 g dans les milieux très riches.

Après hydrolyse, la solution chlorhydrique est filtrée et le résidu de sol lavé à l'eau chaude jusqu'à obtention d'un filtrat incolore.

Trois formes d'azote sont alors déterminées :

- « l'azote insoluble », contenu dans le résidu d'hydrolyse,
- l'azote solubilisé distillable sous forme ammoniacale lorsque le filtrat a été amené à la normalité en soude (« azote ammoniacal »)
- l'azote solubilisé stable dans ces conditions.

L'alcalinisation par la soude et le chauffage du filtrat chlorhydrique ont pour effet de détruire la fraction des sucres aminés qui a résisté à l'hydrolyse acide de sorte que la totalité de l'azote des sucres aminés se trouve dosée dans l'azote ammoniacal (STEVENSON, 1956 b).

Pratiquement, l'azote insoluble est déterminé par minéralisation kjeldahl, l'azote ammoniacal par entraînement à la vapeur et l'azote solubilisé stable par différence entre l'azote solubilisé total (kjeldahl) et l'azote ammoniacal.

Aucune de ces trois formes d'azote n'appartient à un groupe défini de substances azotées originelles du sol. Ainsi l'azote ammoniacal provient à la fois d'ions ammonium préexistant dans le sol, de sucres aminés, mais aussi d'autres composés azotés labiles (cf. tabl. 2) dans les conditions de l'hydrolyse ou de la distillation. Cependant, l'azote solubilisé stable est, pour sa plus grande part, inclus dans des acides aminés comme l'ont prouvé les observations de STEVENSON (1956 b) et nos propres analyses. De ce fait, nous désignerons cette forme d'azote, dans la suite de ce chapitre, sous le terme abrégé « d'azote aminé ».

Déterminations complémentaires

Dans certains échantillons, le fractionnement de l'azote du sol en azote aminé, ammoniacal et insoluble a été complété par la détermination des principaux composants de l'azote dosé sous forme ammoniacale : l'azote ammoniacal échangeable, l'azote ammoniacal rétrogradé (c'est-à-dire retenu sur les surfaces internes des argiles, des illites notamment) et l'azote des sucres aminés ont été ainsi dosés respectivement par les méthodes de DROUINEAU et LEFÈVRE (1949), de DHARIWAL et STEVENSON (1958), et de STEVENSON (1957).

TABLEAU I
Principaux caractères des milieux étudiés
A — sols arables

N°	Origine géographique	Cultures ou végétation naturelle	Fertilisation	M. o. % de sol	C/N	Type textural	Signe (1) représentatif	Groupes (2)
1	Région parisienne	Rotation plantes-racines	S. fum. dep. 84 ans	1,58	8,8	Limons fins	○	SaFr(SSF {SSF (P + T)
2	Grignon (Champ de Dhéran)	céréales depuis 30 ans	S. fum. dep. 57 ans	1,63	8,6	argilo-sableux nettement calcaires	●	SaFr {SAE (P + T)
3			Fert. minér. NPK 80, 84, 60	1,93	8,9			
4			Avec fumier (10 t/ha/an)	2,30	9,1			SaFr(SAF {SAF (P + T)
5	Région parisienne	S. végétation depuis 30 ans	S. fum. dep. 30 ans	1,67	9,2	Limons	○	SaFr(SSF {SSF (P + T)
6			Avec nitrate de chaux (150 N/ha/an)	1,70	9,3			SaFr SAE (P + T)
6'	Versailles (42 parcelles)		Av. sulfate d'ammoniaque (150 N/ha/an)	1,65	9,6	argilo-sableux	●	SaFr(SAF {SAF (P + T)
7			Avec fumier (100 t/ha/an)	3,66	9,6			
10	Région toulousaine Toulouse	Culture maraîchère depuis 42 ans	S. fum. dep. 12 ans	2,25	14,4	Limons	○	SaFr(SSF {SSF (P + T)
11			Fert. minér. NPK (200, 200, 360)	2,48	13,3	argilo-sableux très légèrement calcaires	●	SaFr SAE (P + T)
12			Fumier artificiel (50 t/ha/an + NPK)	3,43	13,7			SaFr(SAF {SAF (P + T)
13	(O. N. I. A.)		Paille (20 t/ha/an + NPK)	3,03	13,2			
14	Région toulousaine	Rotation blé-maïs depuis 42 ans	S. fum. dep. 12 ans	1,89	8,5	Limons sableux	○	SaFr(SSF {SSF (P + T)
15	Thibaut		Fert. minér. NPK (60, 60, 75)	2,15	8,8			SaFr SAE (P + T)
16	Bloc 1		Fumier (20 t/ha tous les 3 ans)	2,06	8,9		●	SaFr(SAF {SAF (P + T)
17			S. Fum. dep. 12 ans	1,26	8,8		○	SaFr(SSS {SAF (P + T)
18	Bloc 4		Fert. minér. (60, 60, 75)	1,34	9,4		●	SaFr(SSS {SAF (P + T)
19			Fumier (20 t/ha/an tous les 3 ans)	1,50	9,9			

N°	Origine géographique	Cultures ou végétation naturelle	Fertilisation	M. o. % du sol	C/N	Type textural	Signe (1) représentatif	Groupes (2)
54	Rég. méditerranéenne Grasse (jardin d'essais)	S. végétation depuis 12 ans	S. fum. dep. 12 ans	2,63	11,8	Argiles limoneuses calcaires	○	SaFr SSF
55			S. fum. dep. 12 ans	2,43	9,2		○	SaFr SSF
56			Avec fumier de bovins 33 t/ha/an	2,68	8,0		●	SaFr SAF
57			Avec fumier de bovins 33 t/ha/an	3,03	10,8		●	SaFr SAF
58	Rég. méditerranéenne	S. végétation depuis 12 ans	Avec fumier d'ovins (22 t/ha/an)	3,37	9,9	Argiles limoneuses calcaires		SaFr
59	Grasse (jardin d'essais)		Avec fumier d'ovins	3,03	9,5		SaFr	
60			Avec paille (11 t/ha/an)	3,08	10,5		SaFr	
61			Avec paille (11 t/ha/an)	2,65	10,4		SaFr	
51	Région toulousaine Maury A Maury B Mauvezin	Prairie permanente retournée Prairie retournée	S. fum.	3,53	8,1	Argiles sableuses		SaFr
52				3,22	7,7		SaFr	
53				6,32	12,3		SaFr	
66	Cameroon M-banga Nyombé — — —	Bananiers dep. 20 ans Bananiers dep. 4 ans succédant à cultures vivrières	Fum. minérale localisée, principalement azotée	5,22	12,4	Argile Limon sableux Sable limoneux Sable Sable argileux Limon fin sableux	×	SaCh
67				11,04	11,2		×	SaCh
				5,49	10,3		×	SaCh
68				4,03	10,3		×	SaCh
69				4,67	12,7		×	SaCh
70	—	5,05	10,1		SaCh			
71	—							
B — profils								
20	Région toulousaine Bouconne	Forêt de chênes	Sans fumure	10,00	17,3	Sol lessivé à pseudogley	A ₁	Hs
21				3,23	12,9		A ₂	Hm
22				2,46	13,0		B	Hm
23				2,06	11,1		Bg	Hp
24				1,17	13,6		Bg	Hp

TABLEAU I (suite)

N°	Origine géographique	Cultures ou végétation naturelle	Fertilisation	M. o. % de sol	C/N	Type pédologique	Nat. des horizons	Signe (1) repré- sentatif	Groupes (2)
25	Région toulousaine Bouconne	Prairie naturelle	Sans fumure	7,00	12,9	Horizons lessivés transportés reposant sur complexes d'altération en place	A ₁ A ₁ A ₂ C	△	Hs
26				4,59	11,6			△	Hs
27				2,06	10,5			□	Hm
28				1,12	9,6				Hp
29	Région toulousaine Poucharramet	Forêt de chênes	Sans fumure	4,56	17,4	Sol lessivé à pseudogley	A B Bg	△	Hs
30				1,70	11,8			□	Hm
31				1,05	9,8				Hp
32	Région toulousaine Lavernose	Vigne	Sans fumure	1,05	8,7	Sol lessivé à pseudogley	A B Bg	△	Hs
33				0,67	7,6			□	Hm
34				0,62	7,2				Hp
35	Région toulousaine Villefranche-de-Laura- gais	Prairie permanente	Sans fumure	3,61	11,7	Sol brun	A A (B)	△	Hs
36				2,60	9,5			□	Hm
37				1,32	8,0				Hp
38	Région toulousaine Lahitère A	Prairie permanente	Sans fumure	10,26	15,4	Rendzine	A A A	△	Hs
39				5,90	13,4			△	Hs
40				2,32	9,8				Hm
41	Région toulousaine Lahitère B	Flore des zones humides (Joncées)	Sans fumure	7,71	11,8	Sol calcimorphe hydromorphe	A A	△	Hs
42				2,43	9,6				Hm
43	Région toulousaine Montbrun-Bocage	Prairie permanente	Sans fumure	12,84	16,2	Sol brun	A ₁ A ₁ A ₂ (B)	△	Hs
44				7,22	12,8			□	Hs
45				2,53	10,2			□	Hm
46				1,20	8,5				Hp

TABLEAU I (suite)

N°	Origine géographique	Cultures ou végétation naturelle	Fertilisation	M. o. % de sol	C/N	Type pédologique	Nat. des horizons	Signe ⁽¹⁾ repré- sentatif	Groupes ⁽²⁾
47	Région toulousaine Montbrun-Bocage	Forêt de sapins	Sans fumure	29,90	22,3	Sol lessivé	A ₀ A ₁ A ₂ B	△ △ □	Hs Hs Hm Hp
48				11,4	19,8				
49				2,58	18,8				
50				1,10	10,9				
2417	Région des Landes Cestas	Forêt de pins (mise en cultures, mais dep. 5 ans)	Fertilisation minérale et amendement calcaire-magnésien (dep. 5 ans)	4,11	26,0	Podzol humo-ferrugineux ⁽³⁾	A ₁ (+ A ₀) A ₂ B ₁ B ₂	+ ⊖ ⊕	A ₁ Pz B ₁ Pz B ₂ Pz
2418				1,17	38,1				
2419				6,43	20,3				
2420				1,58	18,0				
2421	Région des Vosges Taintrux	Forêt de pins	Sans fumure	72,00	39,0	Podzol humo-ferrugineux	A ₀ A ₁ A ₂ B ₁ B ₂	⊥ + ⊖ ⊙	A ₀ Pz A ₁ Pz B ₁ Pz B ₂ Pz
2422				23,80	28,8				
2423				2,20	33,8				
2424				8,65	26,9				
2425				1,43	21,3				
2427	Région des Landes Cestas	Forêt de pins	Sans fumure	29,15	27,9	Podzol humo-ferrugineux ⁽³⁾	A ₀ A ₁ B ₁ B ₂	⊥ + ⊖ ⊙	A ₀ Pz A ₁ Pz B ₁ Pz B ₂ Pz
2428				4,01	36,2				
2430				3,39	30,1				
2431				0,86	21,7				
2432	Région des Landes Cestas	Forêt de pins	Sans fumure	7,47	36,5	Podzol humo-ferrugineux ⁽³⁾	A ₁ B ₁ B ₁ B ₂	+ ⊖ ⊙	A ₁ Pz B ₁ Pz B ₁ Pz B ₂ Pz
2434				2,13	29,4				
2435				0,77	30,0				
2436				0,59	28,3				
2437	Région des Landes Cestas	Molinie	Sans fumure	15,15	37,4	Podzol humo-ferrugineux ⁽⁴⁾	A ₀ A ₁ B ₁ B ₂	⊥ + ⊖ ⊙	A ₀ Pz A ₁ Pz B ₁ Pz B ₂ Pz
2438				1,94	29,8				
2439				2,20	30,2				
2440				0,26	25,0				

TABLEAU I (suite)

No	Origine géographique	Cultures ou végétation naturelle	Fertilisation	M. o. % de sol	C/N	Type pédologique	Nat. des horizons	Signe ⁽¹⁾ repré-sentatif	Groupes ⁽¹⁾
2441	Région des Landes	Molinie et bruyères	Sans fumure	10,57	20,9	Podzol humo-ferrugineux ⁽⁴⁾	A ₁	+	A ₁ Pz
2442				5,29	20,4		A ₁	+	A ₁ Pz
2443				2,20	21,3		B ₁	⊖	B ₁ Pz
2444				1,10	17,6		B' ₁		
2445	Cestas			0,33	16,7		B ₂	•	B ₂ Pz

⁽¹⁾ Signes représentatifs utilisés dans le diagramme de la figure 1.

⁽²⁾ Les sols étudiés ont été répartis et réunis en groupes en fonction de leur origine géographique ou de leur fumure ; de même les horizons ont été classés en fonction de leur position et de la nature pédologique des profils.

SaFr : Sols arables de France

SaCn : Sols arables du Cameroun

SSF : Sols sans fumure issus de champs permanents de France

SSF (P + T) : Sols sans fumure issus de champs permanents du Bassin parisien ou de la Région toulousaine

SAE (P + T) : Sols avec engrais issus de champs permanents du Bassin parisien ou de la Région toulousaine

SAF (P + T) : Sols recevant du fumier de champs permanents du Bassin parisien ou de la Région toulousaine

SAF : Sols recevant du fumier issus de champs permanents de France

Hs : Horizons de surface de sols non podzolisés

Hm : Horizons moyens de sols non podzolisés

Hp : Horizons profonds de sols non podzolisés

A₀Pz : Horizons organiques de surface des podzols

A₁Pz : Horizons éluviaux des podzols

B₁Pz : Horizons humiques d'accumulation des podzols

B₂Pz : Horizons ferrugineux d'accumulation des podzols.

⁽³⁾ Podzol développé en lande sèche.

⁽⁴⁾ Podzol développé en lande humide ⁽⁵⁾.

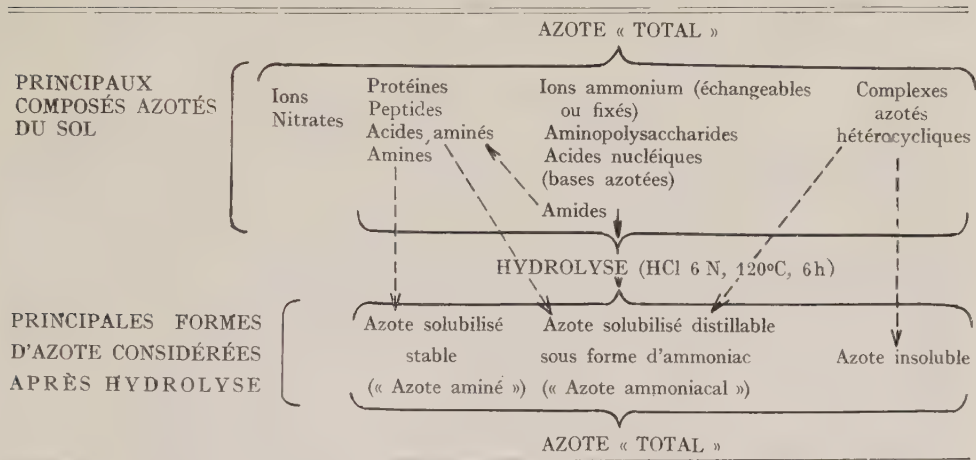
⁽⁵⁾ N.-B. : Les conditions de drainage différentes des deux types de podzols n'ayant pas provoqué, dans la série des échantillons étudiés, de différences systématiques importantes dans la répartition de la matière organique, dans les rapports C/N ni, comme nous le verrons plus loin, dans la répartition des fractions azotées, nous avons groupé ensemble les horizons de même nature appartenant aux 2 types de podzols.

Étude critique des effets de l'hydrolyse

La diversité des milieux étudiés, diversité qui s'avère nécessaire dans un travail d'exploration comme celui que nous avons entrepris, nous a tout d'abord conduit à rechercher l'éventualité d'une différenciation artificielle des milieux, à la suite de l'hydrolyse.

TABLEAU 2

*Fractionnement de l'azote du sol :
les principales formes d'azote obtenues après hydrolyse et leur provenance*



La présence des constituants minéraux des sols, lors de l'hydrolyse de substances protéiques, modifie les effets de l'acide chlorhydrique en accentuant les processus de destruction des acides aminés.

TABLEAU 3

*Répartition de l'azote d'un mélange d'acides aminés
soumis à différentes conditions d'hydrolyse*

Échantillons hydrolysés	Formes d'azote			
	N total	N des acides aminés	N ammoniacal	N insoluble
Acides aminés seuls.....	100,0	99,7	0,3	0,0
Acides aminés ajoutés à 1 g de sol (n° 47)	99,7	98,0	1,7	0,0
Acides aminés ajoutés à 1 g de sol (n° 47) calciné .	98,6	95,2	2,3	1,1
Acides aminés ajoutés à 10 g de sol (n° 34) ...	98,3	92,6	5,7	0,0
Acides aminés ajoutés à 10 g de sol (n° 34) calciné	98,5	97,3	0,7	0,5

Or, si dans tous les milieux que nous avons soumis à l'hydrolyse, la présence de matières minérales était constante, la masse de ces matières était inégale suivant les milieux (horizons organiques de surface, horizons « minéraux » profonds, etc.).

Nous avons donc étudié l'influence de masses différentes de matières minérales des sols, ainsi que l'influence de masses variables de l'ensemble des constituants des sols, sur les résultats de l'hydrolyse. Pour cela, un mélange synthétique d'acides aminés, renfermant tous les acides aminés dont la présence s'est avérée constante dans le sol, a été soumis à l'hydrolyse en l'absence de sol ou en présence de masses différentes d'un horizon très organique (n° 47) ou très minéral (n° 34) ou encore en présence des matières minérales de ces horizons.

La destruction des acides aminés, avec formation d'ammoniac, s'est en effet avérée plus importante (tabl. 3) en présence de l'horizon pauvre en matière organique qu'en présence de l'horizon de surface très humifère.

Il conviendra donc de tenir compte de cet effet de l'hydrolyse dans l'interprétation des résultats observés.

C. — MÉTHODE D'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Par le dosage de l'azote aminé, de l'azote ammoniacal et de l'azote insoluble et par la détermination des proportions relatives de ces trois formes d'azote sont obtenues, pour chaque sol, des séries de trois données. On peut envisager de comparer tour à tour les valeurs de chacune de ces données, de chacune de ces variables, dans les divers milieux étudiés, mais une telle méthode, peu logique, n'est pas exempte de critiques puisqu'elle ne tient pas compte des interactions possibles entre les variables. Il est préférable de comparer tout d'abord les sols « globalement » c'est-à-dire en les considérant comme des entités, comme des systèmes, définis par les valeurs simultanées de chacune des trois variables. Une telle comparaison, qui intègre donc les écarts observés sur chaque variable, nécessite la mesure des « distances » qui séparent les milieux : ces distances dépendent évidemment de chacun des écarts observés sur les trois variables.

Pour effectuer de telles mesures, diverses méthodes ont été mises en œuvre par les statisticiens (HIERNAUX, 1964, 1965 ; KENDALL et STUART, 1966).

Une revue de ces techniques nous a conduit à constater que s'opposent les méthodes comportant une part plus ou moins grande d'approximation (DD de CZEKANOWSKI, 1932 ; CD de CLARK, 1952 ; C²H de HEINCKE, PENROSE, 1954 ; Δg de HIERNAUX, 1965 ; D_{jk} de KENDALL et STUART, 1966) et la technique du D² de MAHALANOBIS (1936), qui demeure exempte de critique sur le plan théorique. Mais le calcul du D² de MAHALANOBIS n'est possible que sous certaines conditions : normalité de la distribution de chaque variable et de la distribution multivariée, linéarité de toutes les corrélations, écarts non significatifs entre les variances ainsi qu'entre les corrélations. De plus la mise en œuvre de cette technique nécessite de très longs calculs. Nous avons donc appliqué l'une des autres techniques ; nous avons choisi celle de KENDALL et STUART (1966) qui nous a paru la plus aisément applicable et la plus satisfaisante dans notre étude.

Dans cette technique, à chacune des n valeurs $V_1, V_2 \dots V_n$ d'une variable, classées par ordre croissant est attribué un rang (r) de 1 à n (pour la plus grande).

Pour chaque variable sont ensuite calculés les rapports $\frac{(r_j - r_k)^2}{\text{Var } r}$ où $\text{Var } r$ est la variance du rangement de 1 à n pour cette variable. La distance entre deux milieux j et k définis par p variables est :

$$D_{jk} = \sum_1^p \frac{(r_j - r_k)^2}{\text{Var } r}$$

La substitution des écarts $r_j - r_k$ aux écarts $v_j - v_k$ modifie nécessairement les différences entre les valeurs d'une même variable mais elle rend comparables les écarts entre variables différentes : aux dispersions diverses des p variables est substituée une dispersion unique (de 1 à n) qui rend les D_{jk} comparables, ainsi que leurs composantes, quelles que soient leurs dispersions originelles.

Cette méthode présente aussi l'avantage d'être applicable quelle que soit la distribution de la variable ; en outre, les calculs qu'elle nécessite sont simples quoique nombreux (quand n et p sont grands).

III. — RÉSULTATS

L'analyse des sols dont nous venons d'indiquer ci-dessus (tabl. 1) quelques caractères, a permis, malgré le nombre relativement petit d'échantillons étudiés et l'interaction manifeste de certains caractères, de mettre en évidence l'influence du

TABLEAU 4

*Influence des conditions climatiques, pédologiques et culturales
sur les teneurs moyennes des sols en azote total
et en azote aminé, ammoniacal ou insoluble*

Facteur principal de différenciation	Groupes de sols	Teneur en azote			pour mille de sol	
		N aminé	N ammoniacal	N insoluble	N total	
Climat	Sols arables du Cameroun (SaCn)	[1,48	[1,29+++ (1)	[0,35	[3,12+	
	Sols arables de France (SaFr)	[0,71	[0,46	[0,30	[1,47	
	Sols sans fumure (SSF)	[0,50++	[0,37+	[0,24	[1,11+	
	Sols recevant du fumier (SAF)	[0,78	[0,44	[0,34	[1,56	
Profondeur	Sols non podzolisés : Horizons { de surface (Hs) moyen (Hm) profondeur (Hp)	[+++1,82+++] [+++0,57] [0,28]	[++++0,75+++] [++0,40] [0,28]	[0,42++] [0,21] [0,16]	[+++2,99++] [+++1,18] [0,72]	
Profondeur	Podzols : Horizons { A ₁ B ₁ B ₂	[0,90] [0,53] [0,14]	[0,30] [0,18] [0,05]	[0,57+] [0,25++] [0,05]	[1,77] [0,97] [0,24]	

(1) Écart significatif au seuil de 0,05 (+), de 0,02 (++) ou de 0,01 (+++).

climat, de la fumure, du type pédologique des sols et de la profondeur sur la répartition des principales formes d'azote.

Cette influence s'exerce simultanément sur la masse des différentes formes d'azote présentes dans le sol et sur leurs proportions relatives. Pour la clarté de notre exposé, nous dissocierons ces deux actions et considérerons successivement nos résultats sous leurs deux aspects : absolu et relatif.

A. — TENEUR DES SOLS EN AZOTE AMINÉ, AMMONIACAL ET INSOLUBLE

Dans les divers milieux étudiés, les teneurs des trois formes d'azote varient entre de très larges limites, comme le montrent les données du tableau 3. Cependant, ces teneurs varient régulièrement en fonction des conditions climatiques, pédologiques et culturales des sols, ainsi qu'en fonction de la profondeur des horizons ; il est ainsi possible, grâce aux échantillons étudiés, de dégager l'influence des paramètres climat, fumure et profondeur, comme le montrent les données moyennes réunies dans le tableau 4.

Les teneurs moyennes en azote aminé, ammoniacal et insoluble sont plus élevées dans les sols du Cameroun (Nyombé) que dans les sols de France, plus élevées également dans les sols fumés que dans les sols sans fumure ; l'influence de la profondeur, variable avec la nature pédologique des profils, apparaît aussi de façon très évidente ; dans les sols non podzolisés, les taux d'azote aminé, ammoniacal et insoluble diminuent constamment vers la profondeur ; dans les podzols, et notamment dans les podzols présentant un horizon A_2 bien individualisé (tabl. 1), l'horizon profond B_1 présente généralement des teneurs supérieures à celles de l'horizon éluvial sus-jacent (JACQUIN, JUSTE et DUREAU, 1965).

Ces diverses variations ne sauraient nous surprendre puisque l'azote aminé, l'azote ammoniacal et l'azote insoluble sont les composantes de l'azote total dont sont bien connues les variations en fonction des différents paramètres considérés (JENNY, 1928 ; DECAU, FIORAMONTI, MALTERRE, 1962, ...).

Les données du tableau 4 montrent aussi que ces paramètres ont une action de même sens sur chacune des composantes de l'azote total.

Mais les variations des teneurs en azote aminé, ammoniacal ou insoluble ne sont pas « parallèles », ce que montre bien l'examen des proportions relatives des trois formes d'azote dosées.

B. — PROPORTIONS D'AZOTE AMINÉ, AMMONIACAL ET INSOLUBLE

Nous avons groupé, sur la figure 1, les proportions des formes d'azote obtenues après hydrolyse dans les divers milieux analysés, à l'exception de ceux qui ne présentent pas des caractères très typiques, ce qui est le cas des horizons moyens des sols non podzolisés et celui des sols arables qui ne proviennent pas de champs permanents.

La dispersion des points sur le diagramme montre la variabilité, suivant les sols, des proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble. Cette dispersion n'est pas régulière ; la plupart des milieux se groupent en cinq constellations relativement bien délimitées que nous avons de ce fait inscrites dans différents polygones.

Or, on voit sur le diagramme que les populations de sols inscrites dans ces poly-

gones sont homogènes, à quelques exceptions près, et présentent chacune un ou plusieurs caractères communs dominants : l'origine géographique (polygone ABCD), le type pédologique (LNOQ), le type pédologique et la position des horizons en profondeur (EFGH ; BJKC).

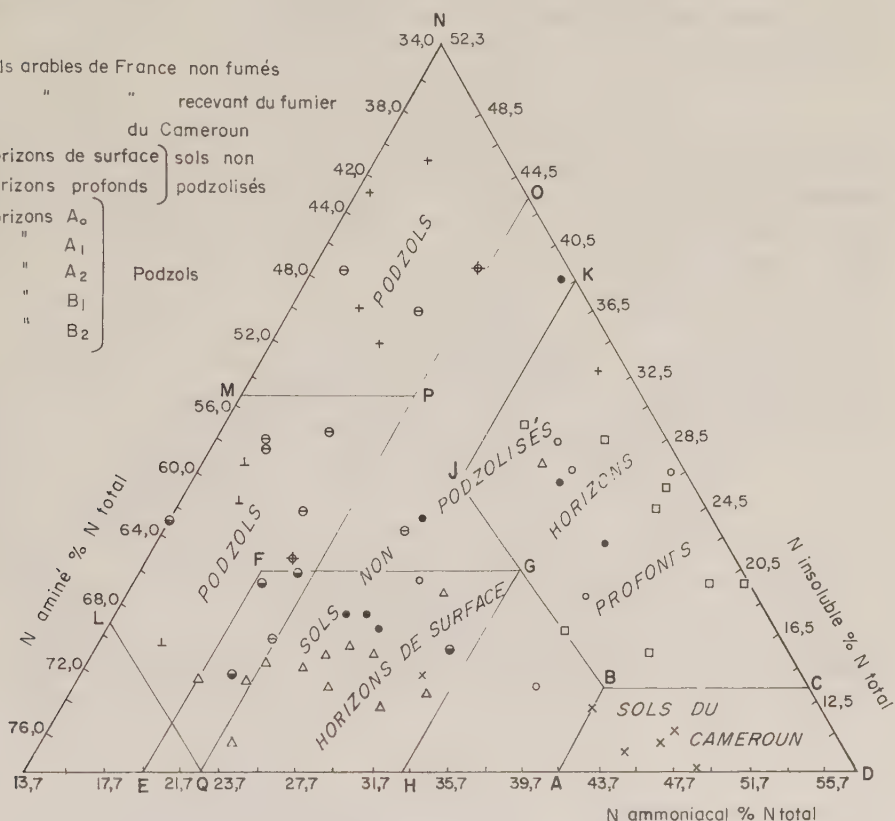


FIG. 1. — Proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble dans les principaux milieux soumis à l'hydrolyse

Ainsi donc, ce bref examen du diagramme 1 met en lumière l'existence de groupes, de familles de sol, que réunissent, plus ou moins étroitement, un ou plusieurs caractères dominants (sols arables du Cameroun et de France, horizons de surface et horizons profonds des sols non podzolisés et des podzols).

La répartition des proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble paraît ainsi dépendre de la provenance des sols, c'est-à-dire principalement des conditions climatiques qu'ils subissent, et, de plus, varier dans les profils avec la profondeur. Mais, la dispersion des milieux à l'intérieur des groupes n'autorise aucune conclusion nette de sorte que s'impose à nous la nécessité d'analyser de façon plus précise les résultats obtenus.

Dans ce but, nous avons tout d'abord cherché à mesurer les distances qui séparent les répartitions moyennes globales des formes d'azote dans les divers groupes

de sols analysés afin de les comparer et de mieux faire apparaître les écarts et les similitudes entre les milieux puis nous avons essayé de déterminer le degré de certitude qui s'attache aux écarts observés.

Ensuite, poussant plus avant l'analyse des résultats, nous avons cherché à préciser la part respective que prennent les différences de proportions d'azote aminé, d'azote ammoniacal et d'azote insoluble dans les distances qui séparent les groupes de milieux considérés.

1. Distances entre les groupes de sols

Nous avons calculé tout d'abord la répartition moyenne des formes d'azote dans chacun des groupes de sols définis dans le tableau 1 (sols arables de France, du Cameroun, etc.) puis mesuré, par application de la méthode de KENDALL et STUART (1966), les distances globales qui séparent les distributions des principales fractions azotées dans les divers groupes.

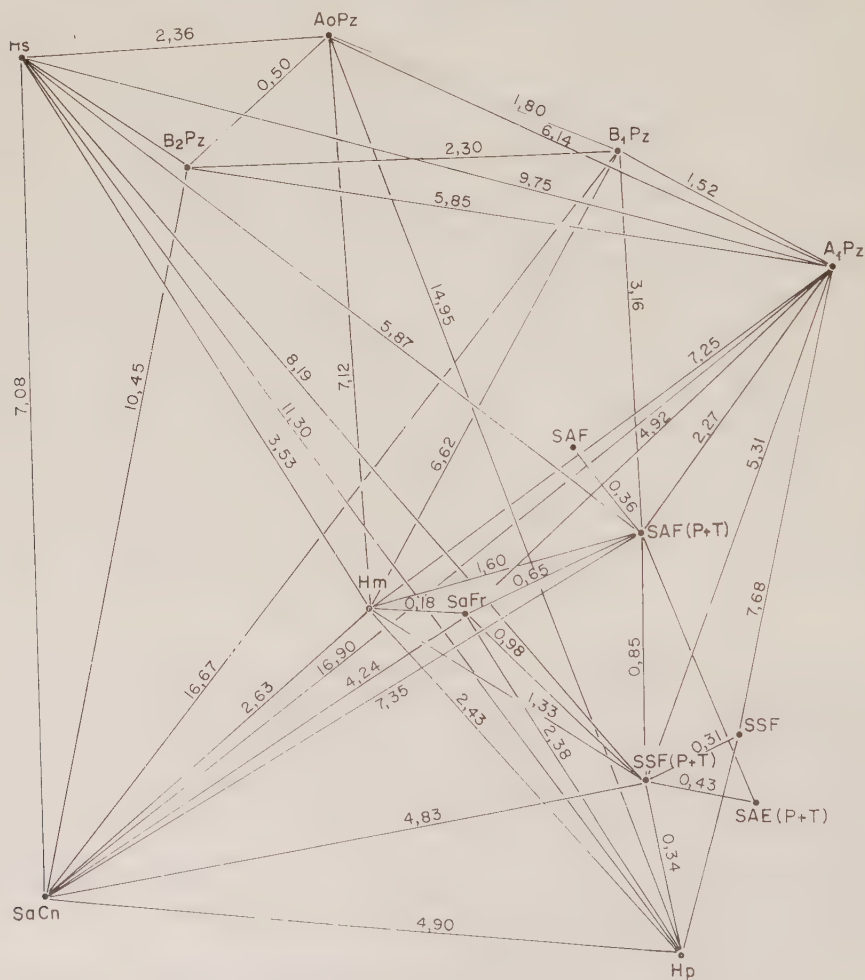


FIG. 2. — Distances généralisées de KENDALL et STUART entre les différents groupes de sols étudiés

Grâce à ces mesures, réunies sur la figure 2, nous pouvons voir que les sols arables de France et leurs sous-groupes (sols sans fumure et sols fumés) ainsi que les horizons moyens et profonds des sols non podzolisés forment un « nuage » relativement dense autour duquel viennent se placer, fort éloignés de cet ensemble, les sols du Cameroun, les horizons de surface des divers profils et les horizons A et B des podzols.

En considérant les distances D_{jk} qui séparent les divers groupes, nous pouvons constater que la situation des horizons en profondeur, dans les sols non podzolisés (distance $D_{H_s - H_p} = 11,30$), la nature pédologique des profils ($D_{A_1P_z - H_s} = 9,75$), l'origine géographique ($D_{sacn} - S_{afr} = 4,24$) et la fumure $D_{SSF (P + T) - SAF (P + T)} = 0,85$) se classent successivement par ordre décroissant d'efficacité dans la différenciation des proportions relatives d'azote aminé, ammoniacal et insoluble, la distance et l'efficacité les plus grandes apparaissant cependant lorsque se trouve conjuguée l'influence de plusieurs facteurs. Tel est le cas pour les horizons A_1 et B_1 des podzols d'une part, pour les sols d'Afrique d'autre part, qui diffèrent à la fois par les conditions climatiques auxquelles ils sont soumis mais aussi par leur texture et que sépare la distance maximale observée ($D_{A_1P_z - sacn} = 16,90$).

La mesure des distances D_{jk} entre les moyennes des groupes permet donc de comparer les influences respectives des divers paramètres étudiés et d'obtenir ainsi d'intéressants résultats relatifs, mais elle ne suffit pas pour apprécier leur valeur statistique. Il convient dans ce but de tenir compte de la dispersion des milieux autour de leurs moyennes.

2. Signification statistique des distances entre les groupes de sols

Soient $m_1, m_2, \dots, m_n$ les divers milieux d'un groupe dont la moyenne est M et soit M' la moyenne d'un autre groupe. Nous avons calculé les distances $m_1M, m_2M, \dots, m_nM$ et $m_1M', m_2M', \dots, m_nM'$ et cherché ensuite, en appliquant la méthode d'appariement (VESSEREAU, 1948), si ces deux populations de distances sont significativement distinctes.

$$\begin{array}{ccc} \cdot m_1 & \cdot m_2 & \\ & \cdot M & \cdot M' \\ \cdot m_n & & \end{array}$$

S'il en est ainsi, les milieux du groupe M sont significativement distants de la moyenne du groupe M' .

L'application de ce calcul aux principales distances inter-groupes (ou inter-moyennes) a permis d'observer (tabl. 5) que, dans de nombreux cas, des seuils de signification très élevés sont atteints. Il en est ainsi en particulier lorsque les distances D_{jk} sont de l'ordre de 4 ou supérieures (tabl. 5).

Ceci nous permet donc de constater que les sols arables du Cameroun forment un groupe à part, très significativement distant des sols arables de France ainsi que des différents horizons des profils. Nous voyons, de même, que les horizons des profils sont, pour la plupart, significativement éloignés les uns des autres (distances $H_p - H_s$, $A_1P_z - A_0P_z$ et $A_1P_z - B_2P_z$, supérieures à 4,24).

Lorsque les distances D_{jk} sont inférieures à 4, des écarts significatifs sont encore observés dans quelques cas mais, pour les distances les plus faibles, les différences cessent d'être significatives et l'on voit ainsi que les horizons A_1 des podzols ne diffèrent pas significativement des horizons B , et que, de même, les horizons B_2P_z , A_0P_z et H_s ne sont pas séparés par des distances significatives.

3. Composantes des distances inter-groupes

La distance D_{jk} qui sépare deux groupes de sols est la résultante de trois écarts composants élémentaires. On a :

$$D_{jk} = D_{Najk} + D_{NNH_{3}jk} + D_{Ni \cdot jk}$$

Il est possible, en comparant les valeurs de ces trois grandeurs, de déterminer l'importance relative des écarts des proportions d'azote aminé, d'azote ammoniacal et d'azote insoluble. On peut aussi, en employant encore la méthode que nous avons appliquée aux distances généralisées D_{jk} , déterminer la probabilité qu'ont les écarts élémentaires d'être significatifs.

TABLEAU 5

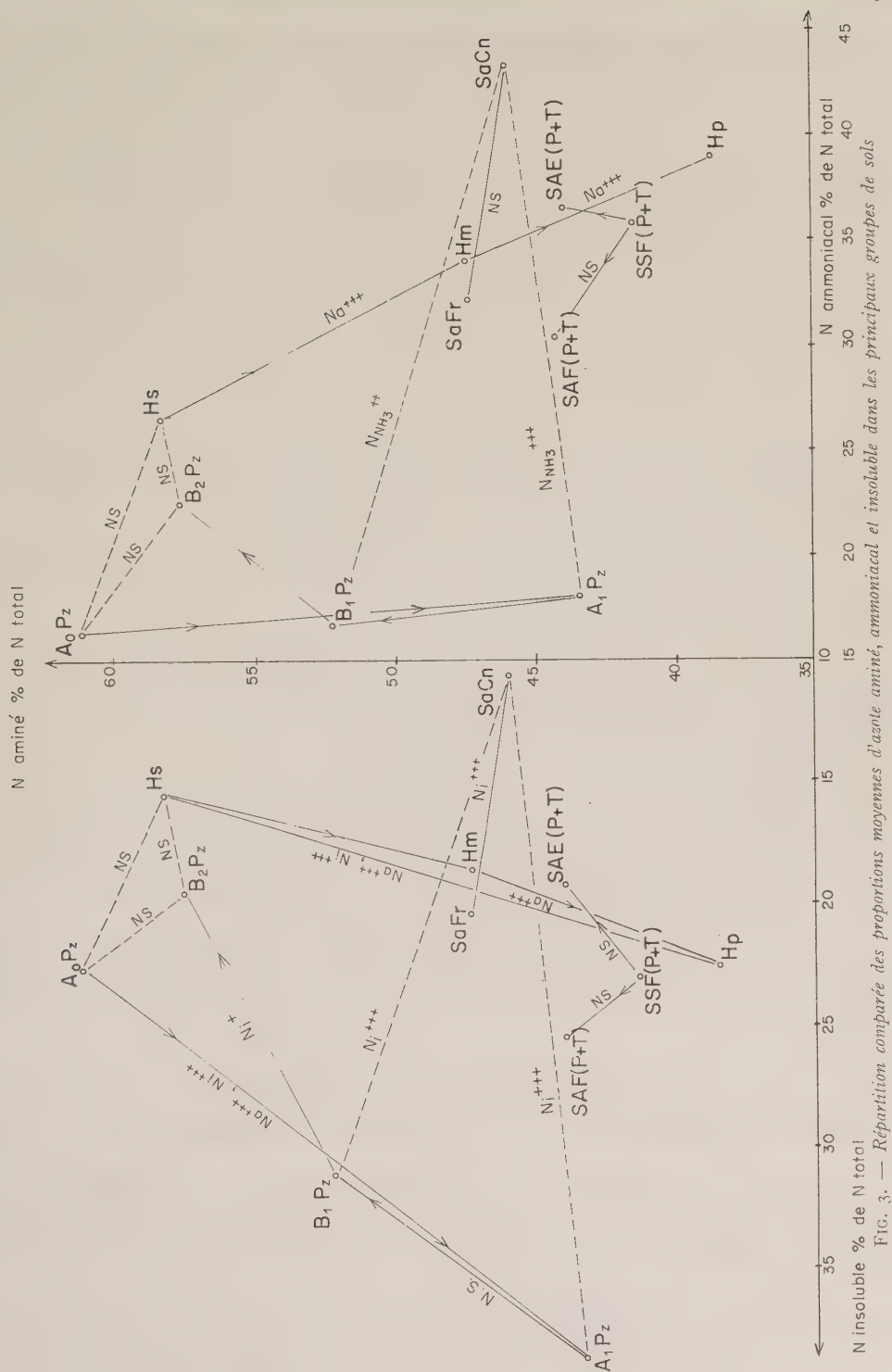
Seuils de signification et composantes des distances généralisées inter-groupes

Distances	Distances généralisées inter-groupes		Distances élémentaires inter-groupes					
			N aminé		N ammoniacal		N insoluble	
	D_{jk}	Seuil de signification (SS)	DN_{ajk}	SS **	DN_{NH_3jk}	SS	DN_{ijk}	SS
SaCn — A ₁ Pz	16,90	0,01	0,14	NS*	7,36	0,01	9,40	0,01
SaCn — B ₁ Pz	16,67	0,01	0,71	NS	7,87	0,02	8,24	0,01
Hp — Hs	11,30	0,01	6,53	0,01	3,17	0,01	1,60	NS
A ₁ Pz — A ₀ Pz	6,14	0,01	4,63	0,01	0,05	NS	1,46	0,01
A ₁ Pz — B ₂ Pz	5,85	0,01	3,45	0,02	0,09	NS	2,31	0,01
SaCn — SaFr	4,24	0,01	0,08	NS	1,16	NS	3,00	0,01
Hp — Hm	2,43	0,02	1,81	0,01	0,25	NS	0,37	NS
B ₂ Pz — B ₁ Pz	2,30	0,05	0,41	NS	0,14	NS	1,75	0,05
A ₁ Pz — B ₁ Pz	1,52	NS (0,06)	1,48	NS (0,06)	0,00	NS	0,04	NS
B ₂ Pz — Hs	0,88	NS	0,00	NS	0,14	NS	0,74	NS
SSF(P+T) — SAF(P+T) .	0,85	0,05	0,21	NS	0,55	NS (0,06)	0,09	NS
B ₂ Pz — A ₀ Pz	0,50	NS	0,09	NS	0,27	NS	0,14	NS
SSF(P+T) — SAE(P+T) .	0,43	NS	0,18	NS	0,02	NS	0,23	NS

* NS : Écarts non significatifs.

** SS : Seuils de signification.

Ainsi, comme le montrent notamment les données du tableau 5, les sols du Cameroun et les horizons A₁ et B₁ des podzols, que séparent les distances généralisées les plus grandes, s'écartent significativement les uns des autres à la fois par leurs proportions d'azote ammoniacal et d'azote insoluble. Par contre, les sols du Cameroun diffèrent des sols de France essentiellement par leurs proportions plus faibles d'azote insoluble. Des écarts significatifs intéressant les proportions d'azote



insoluble sont aussi en grande partie responsables des différences qui séparent les horizons A_1Pz de A_0Pz et de B_2Pz et les sols arables du Cameroun des sols de France.

Il est donc possible de situer l'origine des distances D_{jk} mais on ne peut, par le calcul des D_{jk} de KENDALL et STUART, en préciser le sens, ni la valeur originelle exacte, puisque les distances sont déterminées non pas à partir des données réelles (proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble) mais à partir de données substituées à ces grandeurs (rangs).

Il est donc nécessaire, et il s'avère fécond, comme nous le verrons ci-dessous en conclusion, de confronter ces résultats (ces mesures de distances) aux valeurs analytiques initiales. C'est ce que nous avons fait sur la figure 3 sur laquelle sont résumées et associées, en quelque sorte, quelques données de la figure 2 et du tableau 5.

Les groupes de milieux étudiés, représentés sur la figure 3 par leur moyenne, occupent une large zone des deux plans définis par les couples de coordonnées $\frac{N_a}{N_t}, \frac{N_t}{N_t}$

et $\frac{N_a}{N_t}, \frac{N_{NH_3}}{N_t}$: les proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble varient en effet entre de larges limites ; de 38,5 à 60 p. 100, de 16,3 à 43,3 p. 100 et de 10,7 à 38,5 p. 100 respectivement.

L'examen des positions relatives des divers groupes sur les deux graphiques (sols du Cameroun, sols arables de France, horizons des sols non podzolisés et des podzols, etc.) conduit aux conclusions suivantes :

L'influence du climat, de la fumure, de la profondeur sur la répartition des formes d'azote s'exerce avec des intensités inégales et suivant des directions différentes. L'influence de la fumure est nettement plus faible (non significative dans les conditions expérimentales moyennes des champs permanents étudiés) que celle des conditions naturelles.

L'étude comparée de l'influence d'un facteur, tel que la profondeur, dans deux types de milieux différents (sols non podzolisés et podzols) montre que cette influence ne s'exerce pas suivant un processus unique et simple. Des interactions existent entre les facteurs : ainsi, le gradient des proportions des principales fractions azotées dépend de la nature pédologique des profils.

Ces observations nous font pressentir la complexité du rôle des conditions pédo-climatiques et culturelles et la nécessité de rechercher, au-delà des rapports entre les faits et leurs causes immédiates, les causes profondes et le mécanisme de leurs actions.

IV. — ESSAI D'INTERPRÉTATION DE L'ACTION DES FACTEURS CLIMATIQUES, CULTURAUX ET PÉDOLOGIQUES

L'analyse du mode d'action des facteurs pédoclimatiques et culturels nous conduira tout d'abord à envisager le rôle de la teneur des milieux en azote total ou en matière organique, teneur qui dépend étroitement des conditions de climat, de sol et de culture.

Puis, poussant plus avant l'analyse, nous rechercherons l'action de facteurs dont les variations accompagnent celles du taux de matière organique : nous serons ainsi amené à étudier l'influence de la nature même de la matière organique.

Par la suite, nous préciserons le rôle d'autres caractères des sols variant aussi, dans certains milieux étudiés, en même temps que le taux de matière organique : les caractères texturaux.

A. — INFLUENCE DE LA TENEUR DES MILIEUX EN AZOTE TOTAL

Maintes recherches ont montré l'action des facteurs pédoclimatiques et culturaux sur la teneur des sols en azote total (JENNY, 1928, 1965 ; MOREL, RICHER, MASSON, 1956 ; DECAU, FIORAMONTI, MALTERRE, 1962 ; etc). Nous avons donc été naturellement conduit à rechercher dans quelle mesure la répartition quantitative et relative des différentes formes d'azote est liée au taux d'azote total.

La dépendance des teneurs en azote aminé, ammoniacal et insoluble à l'égard de la teneur en azote total apparaît de prime abord comme évidente puisque l'on a :

$$N \text{ total } \text{‰} = N_a \text{ ‰} + N_{NH_3} \text{ ‰} + N_i \text{ ‰}$$

Mais cette formule n'implique pas nécessairement l'existence de relations rigoureusement fonctionnelles entre N total et chacune des formes d'azote. Pour préciser ce point, dans le cas de l'azote aminé pris ici comme exemple, nous avons porté sur la figure 4 les teneurs des divers milieux en azote aminé en fonction de leur taux d'azote total.

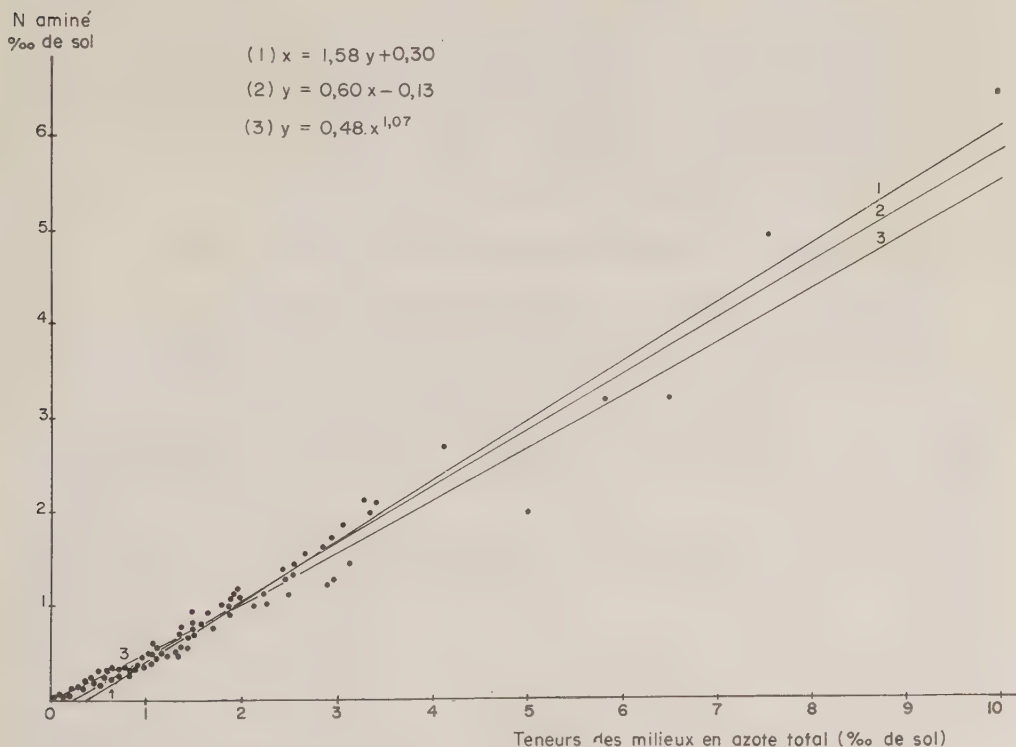


FIG. 4. — Relation entre la teneur des milieux en azote aminé et leur taux d'azote total

La position des milieux sur le graphique permet de considérer comme linéaire, en première approximation, la relation qui lie les deux coordonnées. Il est possible,

avec cette hypothèse, de calculer le coefficient de corrélation qui lie les deux grandeurs. Ce coefficient est très élevé (0,97) et hautement significatif ($P < 0,01$). Il existe donc une relation quasi fonctionnelle entre la teneur en azote aminé et le taux d'azote total, ce qu'illustrent aussi les faibles écarts entre les coefficients angulaires des droites de régression (1) et (2).

Des relations analogues, quoique moins étroites, lient aussi, en raison de la complémentarité des trois formes d'azote, les teneurs en azote ammoniacal et insoluble aux taux d'azote total.

On remarque, sur la figure 4, que les droites de régression $N_a = f(N_t)$ et $N_t = f(N_a)$ ne passent pas par l'origine ; toutefois les ordonnées à l'origine de ces deux courbes ne sont pas significativement différentes de zéro.

On peut cependant se demander, au vu de la répartition des points sur la figure 4, si la variation de N_a en fonction de N_t ne serait pas plus fidèlement représentée par une fonction de la forme $N_a = K \cdot N_t^n$ (avec $n < 1$) fonction qui passe par l'origine. Afin de répondre à cette question, nous avons cherché la forme de la relation qui lie les logarithmes des deux variables.

Il existe entre ces grandeurs une relation linéaire :

$$\log N_a \text{ p. } 1\ 000 = 1,07 \cdot \log N_t \text{ p. } 1\ 000 - 0,31 \quad (2)$$

qui semble plus étroite que la relation (1). C'est en effet ce qui contribue à prouver la valeur du coefficient de corrélation entre les deux logarithmes ($r = 0,98$) et la mesure de l'erreur d'échantillonnage du coefficient de régression ($b = 1,07$). Ce coefficient diffère de 1 sensiblement de façon significative ($P < 0,05$) de sorte que la relation $N_a = f(N_t)$ est significativement différente d'une fonction linéaire.

De l'équation précédente, on tire :

$$N_a \text{ p. } 1\ 000 = 0,48 \cdot N_t \text{ p. } 1\ 000^{1,07} \quad (3),$$

fonction croissante qui passe par l'origine, puis à partir de (3), on obtient :

$$\frac{N_a}{N_t} \times 100 = 48 \cdot N_t \text{ p. } 1\ 000^{0,07} \quad (4).$$

La proportion d'azote aminé est donc une fonction croissante de la teneur en azote total mais la relation entre les deux grandeurs est assez peu étroite.

On peut se demander s'il en va ainsi dans chacun des groupes de milieux analysés. Afin de préciser ce point, nous avons réparti les milieux en trois groupes principaux : sols arables (de France et du Cameroun), horizons des sols non podzolisés, horizons des podzols.

À l'intérieur du groupe des podzols, la proportion d'azote aminé et la teneur en azote total sont indépendantes. En revanche, dans les sols arables de France et dans les profils de sols non podzolisés existent entre $\frac{N_a}{N_t} \times 100$ et $N_t \text{ p. } 1\ 000$ des relations positives plus étroites et très significatives ($P < 0,05$; $P < 0,01$).

Ainsi donc, dans les milieux étudiés, à l'exclusion des podzols, la proportion d'azote aminé croît avec le taux d'azote total.

Ces faits peuvent être rapprochés des observations de BREMNER (1949) et de STEVENSON (1956 a, 1956 b) mais ils diffèrent des résultats de CHENG et VAN HOVE (1964) et de KEENEY et BREMNER (1964) qui ont noté des variations faibles et irrégulières de la proportion d'azote aminé avec la teneur en azote total.

Il convient par ailleurs de noter que de la teneur des milieux en cet élément dépend le taux de matière organique, de sorte que la relation observée entre les proportions des différentes fractions azotées et la teneur globale des sols en azote traduit en fait la relation entre la répartition des formes d'azote et le taux de matière organique ; ceci s'est trouvé confirmé en considérant les teneurs des milieux en carbone organique qui fournissent les mêmes indications.

Ainsi donc, les proportions d'azote aminé, ainsi d'ailleurs que les proportions d'azote ammoniacal et d'azote insoluble qui leur sont complémentaires, varient, dans les sols non podzolisés, suivant les teneurs des milieux en matière organique, teneurs que déterminent et que contrôlent les conditions climatiques et culturelles et la position des horizons dans les profils.

Il convient maintenant de vérifier si ces variations résultent d'un rapport réel de cause à effet ou bien si la relation entre répartition des formes d'azote et taux de matière organique est seulement la conséquence fortuite d'une relation différente, causale, d'une relation entre degré d'humification et répartition de l'azote par exemple. La première de ces éventualités a été envisagée au début de notre travail (cf. techniques). Nous avons montré qu'à partir d'une même quantité d'acides aminés, des quantités légèrement différentes d'azote aminé sont obtenues selon que l'hydrolyse a lieu en présence d'un milieu riche en matière organique ou d'un milieu pauvre. Quand diminue le taux de matière organique, il en va de même de la quantité d'azote aminé récupérée, tandis que l'azote ammoniacal augmente.

Ce phénomène contribue à expliquer les variations des proportions d'azote aminé avec le taux d'azote total ou de matière organique mais l'amplitude de l'effet de destruction à l'hydrolyse demeure limitée et ne saurait rendre compte totalement des variations observées. Nous devons donc envisager la seconde éventualité.

B. — INFLUENCE DE LA NATURE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Une appréciation de la nature de la matière organique du sol, et plus particulièrement de son degré d'évolution, est obtenue par la mesure du rapport C/N.

1. *Formes d'azote et rapport C/N*

Si nous considérons les sols arables de France, nous voyons que les proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble sont, dans ces milieux, indépendantes du rapport C/N : alors que ce rapport varie peu d'un milieu à l'autre, les proportions des trois formes d'azote présentent d'amples variations.

Dans les profils des podzols, en revanche, les rapports C/N sont plus largement distribués mais on n'observe pas cependant, ici encore, de relations entre la répartition des formes d'azote et le rapport C/N.

Dans les profils de sols non podzolisés, dont les C/N sont aussi très différents, il en va différemment et l'on peut voir (tabl. 6) que la proportion d'azote aminé augmente avec le C/N dans les horizons où ce rapport atteint des valeurs élevées : la proportion d'azote aminé est ici d'autant plus grande que la matière organique du sol est moins évoluée. Ainsi, pour la plupart des profils de la région toulousaine, on peut sans doute attribuer, au moins partiellement, à une plus grande humification de la matière organique des horizons profonds, la diminution de la proportion de l'azote aminé dans l'azote total. La présence d'une quantité relativement impor-

tante d'azote ammoniacal, dans les sols de Nyombé, vient appuyer le bien-fondé de ce mécanisme, la matière organique de ces sols ayant un haut degré d'humification (DUGAIN, 1960).

TABLEAU 6

Répartition de l'azote et degré d'humification de la matière organique dans les sols non podzolisés

Rapport C/N des profils	Proportions moyennes des formes d'azote pour cent de l'azote total		
	N aminé	N ammoniacal	N insoluble
C/N $\leq$ 10,0	+ 44,5	++ 35,1	20,4
10,0 < C/N $\leq$ 12,5	46,9	33,9	19,2
12,5 < C/N $\leq$ 15,0	49,9	34,1 +	16,0
15,0 < C/N $\leq$ 25,0	58,9	25,3	15,8

Afin de vérifier ces faits et leur interprétation, dans divers horizons de sols non podzolisés, nous avons fractionné la matière organique.

2. Formes d'azote et proportions de matière organique libre ou liée

Nous avons séparé matière organique libre et matière organique liée au moyen de liquide de densité 2,0 (MONNIER, TURC et JEANSON-LUUSINANG, 1962) dans divers horizons (A₀ et A d'une part, (B) et Bg d'autre part) de sols bruns et de sols lessivés.

Il ressort de la comparaison des fractions organiques (tabl. 7) que l'azote aminé occupe dans l'azote total une place plus importante et l'azote ammoniacal une place plus modeste, dans la matière organique libre que dans la fraction à la fois humique et minérale du sol.

TABLEAU 7

Proportions moyennes des principales formes d'azote dans les matières organiques libres ou liées des sols non podzolisés ⁽¹⁾

Nature de l'échantillon	Proportions des formes d'azote pour cent d'azote total		
	N aminé	N ammoniacal	N insoluble
Matière organique libre ...	55,7] NS	27,1] ++	17,2]
Matière organique liée	47,2] ⁽²⁾	33,7]	19,1]

⁽¹⁾ Horizons fractionnés : n° 20, 23, 43, 46, 47, 50.

⁽²⁾ Écart non significatif mais probabilité supérieure à 0,92.

Ces résultats suggèrent le corollaire suivant : la diminution de la proportion d'azote aminé vers la profondeur, compensée par l'augmentation de l'azote ammo-

niacal, résulte de l'abaissement en profondeur de la proportion de matière organique libre peu humifiée riche en azote aminé au profit de la matière organique humifiée dans laquelle domine l'azote ammoniacal ; ce fait est suggéré par la diminution, vers la profondeur, du rapport C/N.

Effectivement, les horizons superficiels et les horizons profonds diffèrent par la répartition de la matière organique entre les deux fractions : tandis que dans les horizons superficiels domine — plus ou moins nettement — la fraction organique libre (tabl. 8), dans les horizons profonds, la fraction organique liée est dans chaque cas beaucoup plus abondante.

TABLEAU 8

*Proportions de matière organique libre ou liée
dans quelques horizons des sols non podzolisés*

Horizons	Hs			Hp		
N°	20	43	47	23	46	50
Rapport pondéral : fraction organique libre fraction organique liée	1,29	1,17	8,92	0,51	0,42	0,43

Mais ces différences de proportions de matière organique libre et de matière organique liée ne paraissent jouer un rôle que dans les profils et dans les horizons relativement homogènes. En effet, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, de nombreuses variations de proportions des fractions azotées (cas des podzols notamment) paraissent indépendantes du degré d'humification de la matière organique.

Les résultats différents fournis par les sols non podzolisés et par les podzols pourraient résulter des différences fondamentales de texture qui séparent ces types de sol.

C. — INFLUENCE DE LA TEXTURE DES MILIEUX

Parmi les milieux étudiés, les podzols occupent, par leur texture, une position très particulière et forment un groupe homogène caractérisé par l'absence d'argile et la rareté des limons (texture sableuse). Aux podzols s'opposent les divers autres milieux qui renferment tous, à des taux variables il est vrai, des colloïdes minéraux.

On peut tenter de rechercher dans ces différences texturales l'origine des écarts notés entre les proportions d'azote aminé, ammoniacal et insoluble (cf. fig. 4) dans les deux grands types de milieux.

Dans ce but, nous avons étudié l'influence des colloïdes argileux sur la répartition des formes d'azote du sol.

Nous avons signalé plus haut (cf. techniques analytiques) que la présence des constituants minéraux des sols, et donc notamment des constituants colloïdaux et de leurs ions associés, provoque la formation d'ammoniac à partir des acides aminés, au cours de l'hydrolyse. Nous avons montré également ici que les colloïdes argileux

interviennent aussi, *in situ*, par leur pouvoir de rétention de l'azote ammoniacal sous forme échangeable et aussi, le plus souvent, sous forme rétrogradée (tabl. 9).

TABLEAU 9

Origine de l'azote ammoniacal des hydrolysats : teneur en azote ammoniacal échangeable ou fixé de quelques horizons de sols non podzolisés

Provenance des sols	N° des échantillons	Teneurs en azote pour mille de sol					Teneurs en argile pour cent de sol
		N ammoniacal (avant hydrolyse)			N de l'hydrolysats		
		échangeable	fixé (rétrogr.)	total	ammoniacal	total	
Forêt de Bouconne	20.....	0,10	0,02	0,12	0,76	3,02	14,4
	21.....	0,09	0,01	0,10	0,52	1,46	14,7
	22.....	0,08	0,05	0,11	0,45	1,10	20,4
	23.....	0,08	0,03	0,11	0,46	1,08	20,6
	24.....	0,05	0,08	0,13	0,22	0,50	25,5
Prairie de Montbrun-Bocage	43.....	0,08	0,14	0,22	0,97	4,11	—
	44.....	0,01	0,18	0,19	0,90	2,96	22,1
	45.....	0,01	0,15	0,16	0,64	1,44	20,2
Forêt de Montbrun-Bocage	47.....	0,03	0,16	0,19	1,49	7,53	—
	48.....	0,01	0,20	0,21	0,75	3,33	16,3
	49.....	0,02	0,18	0,20	0,26	0,80	21,4
	50.....	0,02	0,18	0,20	0,20	0,59	26,0

Les données ci-dessus (colonnes 2, 3 et 4) montrent en particulier que les ions ammonium rétrogradés fournissent une part variable mais parfois importante de l'azote ammoniacal des hydrolysats. Cette fraction croît vers la profondeur en même temps que le taux d'argile. Il est donc logique que, par suite de l'absence de cette source d'azote, les hydrolysats des podzols, milieux dépourvus d'argiles, renferment moins d'azote ammoniacal que ceux qui proviennent de sols non podzolisés.

La différence de texture est probablement aussi la cause principale des écarts observés entre les proportions moyennes d'azote insoluble dans ces deux types de sols.

En milieu de texture sableuse et sous climat humide, les phénomènes de lessivage jouent un très grand rôle dans la répartition de la matière organique des profils, comme en témoigne l'accumulation de la matière organique dans l'horizon B₁ des podzols (tabl. 1). Il nous a paru probable que ce lessivage affecte inégalement les divers constituants organiques azotés des végétaux et des sols et que soient préférentiellement entraînés les composés riches en azote solubilisable à l'hydrolyse. Ainsi pourrait se trouver expliquée le gradient d'azote insoluble observée entre les horizons A₁ et B₂ des podzols (fig. 4).

Nous avons testé cette hypothèse. Utilisant la technique et les conditions expérimentales qui ont permis à PEDRO (1964) de créer *in vitro* des conditions rapides de podzolisation, nous avons soumis plusieurs horizons organiques de surface (litière

d'aiguilles de pins et horizon organique humifié sous-jacent, notamment) à une percolation cyclique avec une solution acétique dans un appareil de Soxhlet.

TABLEAU 10

Répartition des principales formes d'azote dans les fractions solubles ou insolubles d'horizons organiques de surface soumis à une percolation acétique

Échantillons	Principales fractions azotées pour cent d'azote total			
	N aminé	N ammoniacal	N insoluble	
D 1342 (1)	Résidu	49,1	13,5	37,4
	Percolat	70,2	13,5	16,3
D 1343 (2)	Résidu	41,2	15,5	43,3
	Percolat	66,7	22,8	10,5

⁽¹⁾ D 1342 : Litière d'aiguilles de pins.

⁽²⁾ D 1343 : Matière organique sous-jacente.

Nous avons effectivement noté (tabl. 10) une accumulation relative d'azote insoluble à l'hydrolyse dans le résidu fixe soumis à la percolation, résidu qui joue ici le rôle de l'horizon A₁ des podzols. Ces observations viennent donc confirmer l'hypothèse du lessivage préférentiel des composés riches en azote solubilisable à l'hydrolyse au détriment des composés renfermant surtout de l'azote insoluble. A ce lessivage participeraient les acides organiques présents ou produits dans les litières au cours de l'humification.

Cependant, ce mécanisme n'exclut pas la participation d'autres phénomènes à l'accumulation d'azote insoluble dans les horizons des podzols.

Il se peut que l'acidité du milieu, sa pauvreté en bases échangeables, la pauvreté en azote des résidus organiques soient aussi en partie responsables de la formation d'un humus riche en azote insoluble. Nous nous proposons, dans une phase ultérieure de notre travail, de tester cette hypothèse qui sera d'ailleurs reprise et discutée plus loin, dans la suite de ce mémoire.

Des différences de proportions relatives d'azote insoluble et d'azote ammoniacal distinguent aussi les sols arables du Cameroun des sols arables de France.

L'origine de ces écarts ne réside pas ici dans des différences de la composition granulométrique, telle du moins que celle-ci est obtenue par l'analyse physique mais il se peut que la distribution particulière des formes d'azote des sols d'Afrique soit liée à certaines propriétés particulières de la fraction minérale, propriétés qui n'apparaissent pas dans une analyse immédiate. On peut notamment se demander dans quelle mesure la proportion importante d'azote ammoniacal obtenue après hydrolyse dépend des propriétés particulières des colloïdes minéraux de ces sols.

Les sols de Mbanga et de Nyombé différant surtout des sols arables français par leur proportion plus grande d'azote ammoniacal, nous avons cherché l'origine de

cette forme d'azote ; nous avons dosé les sucres aminés et les ions ammonium échangeables et fixés qui se trouvent originellement dans le sol.

Nous avons constaté que l'azote ammoniacal représente seulement le vingtième en moyenne de l'azote total ; la plus grande partie se trouve à l'état échangeable, les complexes ferralitiques de ces sols ne pouvant retenir, comme le font certaines argiles des sols de France, une quantité notable d'azote sous forme non échangeable.

Par contre, l'azote des sucres aminés est plus abondant et représente un huitième de l'azote total contre un quinzième environ seulement dans les sols de France.

Cependant, plus de la moitié de l'azote dosé sous forme ammoniacale ne provient pas de ces différents composés.

Il est probable qu'une importante fraction de l'azote ammoniacal libéré par hydrolyse provient de matières humiques : celles-ci ont vis-à-vis de l'azote ammoniacal un grand pouvoir de fixation (MATTSON et KOUTLER-ANDERSON, 1963 ; YOUNG, 1964) et sont très abondantes dans les sols camerounais étudiés (DUGAIN, 1960).

Les colloïdes minéraux interviendraient seulement d'une manière indirecte dans ce phénomène, en protégeant contre une rapide dégradation microbienne, les matières humiques formées.

L'origine du faible taux d'azote insoluble dans les sols du Cameroun peut aussi être recherchée dans l'humification très avancée de leur matière organique. Mais notre ignorance de la nature exacte et de l'état de cet azote dans le sol rend difficile tout éclaircissement dans ce domaine. Néanmoins, divers résultats peuvent, semble-t-il, éclairer nos observations. Tels sont les travaux de FLAIG (1963) qui, étudiant la transformation de « fractions de lignine » pendant la décomposition des matériaux des plantes, a montré que ces fractions, ainsi que l'insoluble à l'hydrolyse, s'enrichissent en azote et que, de plus, la proportion d'azote de la lignine demeurant insoluble à l'hydrolyse allait croissant au cours de la décomposition de la paille pour atteindre 25 p. 100 de l'azote total après 340 jours. Mais cet auteur a aussi montré que dans des acides humiques extraits de la même paille incubée, la proportion d'azote insoluble à l'hydrolyse est très inférieure à celle des fractions de lignine.

Ces observations nous conduisent à penser que le degré plus ou moins avancé de l'humification et les conditions mêmes de ce processus pourraient être les causes, au moins partielles, à la fois du très faible pourcentage d'azote insoluble des sols africains étudiés (dans lesquels le taux d'humification est très élevé) et des proportions élevées d'azote insoluble dans les podzols. Dans le premier cas, l'humus porte l'empreinte profonde d'une intense activité microbienne (ce que nous montrerons dans un second mémoire, grâce à l'étude de la répartition des acides aminés). Sous l'effet des microorganismes, il est probable que la lignine subit une dégradation avancée et perd ses caractères propres avant de participer à la synthèse des acides humiques. Dans le second type de milieux, les conditions sont moins favorables à la vie microbienne et les résidus végétaux sont moins fermentescibles. Il se peut donc que demeurent dans l'humus des podzols des « fractions de lignine » riches en azote insoluble.

V. — CONCLUSIONS

Ces observations et ces hypothèses montrent ici encore, si besoin était, que de nombreuses études expérimentales systématiques et approfondies sont nécessaires

afin de déterminer ou de préciser l'influence des conditions d'humification sur la répartition et le métabolisme des principales formes d'azote du sol.

Les diverses données réunies dans ce mémoire montrent que la répartition des formes d'azote obtenues par hydrolyse est la résultante complexe de composantes nombreuses et variables. Il apparaît cependant que le climat, la nature des milieux et les conditions culturales sont des facteurs effectifs de la répartition, tant en valeur absolue que relative, des formes de l'azote dans le sol.

L'influence de ces facteurs sur les teneurs en azote aminé, ammoniacal et insoluble, est illustrée notamment par les taux beaucoup plus élevés de l'azote aminé dans les sols du Cameroun (1,48 p. 1 000) que dans les sols de France (0,71 p. 1 000), dans les sols recevant des amendements organiques (0,78 p. 1 000) que dans les sols depuis de nombreuses années sans fumure (0,50 p. 1 000), dans les horizons de surface des sols non podzolisés comparés aux horizons profonds.

L'action des conditions pédoclimatiques et culturales n'apparaît pas moins nettement quand on compare, par exemple, les proportions d'azote ammoniacal des sols fumés à celles des sols sans fumure (30,3 et 35,8 p. 100), les proportions d'azote insoluble des sols de France à celles des sols du Cameroun (20,5 et 10,7 p. 100) ou les gradients des diverses formes d'azote, suivant la profondeur, dans des profils de nature pédologique différente.

L'étude statistique de ces divers écarts montre qu'ils ne sont très généralement pas dus au hasard mais reflètent bien des conditions écologiques différentes.

L'analyse des mécanismes par lesquels ces conditions de milieu interviennent met en lumière les faits suivants :

1. les gradients des proportions relatives d'azote aminé, ammoniacal et insoluble des profils de sols non podzolisés en fonction de la profondeur sont en partie dus :

a) au degré plus avancé de l'humification dans les horizons profonds comparés aux horizons de surface;

b) à la présence initiale, dans ces milieux, d'azote ammoniacal rétrogradé, en proportion plus grande dans les sous-sols que dans les sols;

c) à la destruction plus grande des acides aminés par l'agent d'hydrolyse dans les milieux pauvres en matière organique par rapport aux milieux riches ;

2. les gradients des proportions relatives d'azote aminé, ammoniacal et insoluble dans les podzols relèvent pour une large part d'un lessivage préférentiel des composés azotés riches en azote soluble au détriment de ceux qui renferment de l'azote insoluble, mais les conditions d'humification peuvent être aussi, comme le lessivage, responsables de l'accumulation relative d'azote insoluble dans les horizons A₁ et B₁ de ces sols ;

3. la répartition inégale des principales fractions azotées, dans les sols arables fumés ou non fumés d'une part, dans les sols arables de France ou du Cameroun d'autre part, résulte, dans une large mesure, des différences d'évolution des matières organiques dans ces divers milieux.

La répartition des principales fractions azotées est donc, suivant les milieux, sous la dépendance plus ou moins directe de processus physiques (lessivage préférentiel des podzols), physico-chimiques (rétrogradation des ions ammonium) et bio-

logiques (vitesses relatives d'organisation de l'azote par les plantes et les microorganismes, d'humification et de minéralisation).

Cette analyse des mécanismes par lesquels les conditions pédoclimatiques règlent la répartition des principales fractions azotées du sol fait apparaître la nécessité d'études nouvelles afin de mieux préciser l'influence des conditions de milieu sur le devenir de l'azote au cours des processus de l'humification.

Reçu pour publication en juillet 1968.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement ici le Révérend Père CARLES, Directeur scientifique au Centre national de la Recherche scientifique, qui a bien voulu nous faire bénéficier, tout au long de ce travail, de sa grande expérience et de ses conseils, MM. les Professeurs CHAMPAGNAT et LOISEAU, de l'Université de Clermont-Ferrand, et MM. COLLIER et MOSSÉ, Directeurs de Recherche à l'I. N. R. A., qui ont bien voulu s'intéresser à ce travail et ont accepté de le juger.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements à MM. BOISCHOT, DROUINEAU, GADET, GODEFROY, JACQUIN, JEANTEUR, JUSTE, LECOCQ, MOREL et SOUBES qui nous ont fait parvenir une grande partie des échantillons de sols étudiés et nous ont fourni de précieuses données pédoclimatiques et culturales.

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE STUDY ON THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE SOIL'S NITROGEN DISTRIBUTION

I. — MAIN FORMS OF NITROGEN DERIVED THROUGH HYDROLYSIS

92 soils or horizons from various areas of France and of the Cameroons, differing by their textural, pedological or cultural conditions, have been subjected to hydrochloric hydrolysis. The distribution of the main nitrogen forms so derived (amino-, ammonia and insoluble nitrogen) has been investigated in relation with cultural and pedo-climatic conditions.

The climatic conditions undergone by the soils (of France and of the Cameroons), the position of horizons in the profiles, as well as the pedological nature of the environments and cultural methods, have determined the distribution of the main nitrogenous fractions of the soils. In those in a sub-equatorial climate, the proportion of ammonia nitrogen is larger, $\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 43.3$, and the per-

centage of insoluble nitrogen $\left(\frac{N_i}{N_t} \times 100 = 10.7 \right)$ lower, than in soils in a temperate climate

$\left(\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 32.2, \frac{N_i}{N_t} \times 100 = 20.5 \right)$.

Likewise, in unmanured soils, the proportion of ammonia nitrogen is larger (35.8 per cent) than in those manured, (30.3 per cent). In non-podzolized soil profiles, the percentage of amino-nitrogen decreases with depth, gradient which makes good the inverse variation of ammonia nitrogen. Contrariwise, in podzols, the proportion of amino-nitrogen rises with depth whilst the percentage of insoluble nitrogen diminishes.

The cause of these various observations has been sought. Variational nitrogen and organic-matter contents, different types of humus and texture of the soils are the chief causes of the deviations noted in the distribution of their major forms of nitrogen.

ZUSAMMENFASSUNG

BEITRAG ZUR UNTERDUCHUNG DES EINFLUSSES DER
MILIEUBEDINGUNGEN AUF DIE VERTEILUNG DES BODENSTICKSTOFFES

I. — HAUPTSACHLICHE MITTELS HYDROLYSE ERHALTENE FORMEN DES STICKSTOFFES

92 aus verschiedenen Gebieten Frankreichs oder Kameruns stammende Böden oder Horizonte, die durch ihre Textur- oder ihre pedologischen Merkmale, oder durch ihre Kulturbedingungen voneinander abwichen, wurden der Salzsäure-Hydrolyse unterworfen. Die Verteilung der so erhaltenen hauptsächlich Stickstoffformen (Amino-Stickstoff, ammoniakalischer und unlöslicher Stickstoff) wurde in Verbindung mit den pedoklimatischen und landwirtschaftlichen Bedingungen untersucht.

Die klimatischen Bedingungen, denen die Böden in Frankreich und in Kamerun ausgesetzt sind, die Lage der Horizonte in den Bodenprofilen als auch die pedologische Natur der Milieus und ihrer landwirtschaftlichen Nutzung bestimmen die Verteilung der hauptsächlich stickstoffhaltigen Fraktionen der Böden. Bei den einem unteräquatorialen Klima ausgesetzten Böden, ist der Anteil an ammoniakalischen Stickstoff grösser $\left(\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 43,5\right)$ und der Prozentsatz an unlöslichem Stickstoff schwächer $\left(\frac{N_i}{N_t} \times 100 = 10,7\right)$ als in den einem gemässigten Klima ausgesetzten Böden $\left(\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 32,2, \frac{N_i}{N_t} \times 100 = 20,5\right)$.

Ebenso ist in Böden ohne Dünger der Anteil an ammoniakalischen Stickstoff grösser (35,8 p. 100 als in den gedüngten Böden (30,3 p. 100). In den nichtpodzolierten Bodenprofilen, wird ein abnehmender Gradient des Prozentsatzes an Amino-Stickstoff mit zunehmender Tiefe festgestellt. Dieser Gradient wird durch eine umgekehrte Änderung des ammoniakalischen Stickstoffgehaltes ausgeglichen. In den Podzolen, wächst, im Gegenteil, der Anteil an Amino-Stickstoff mit der Tiefe, während der Prozentsatz an unlöslichem Stickstoff abnimmt.

Die Ursachen dieser verschiedenen Beobachtungen wurden untersucht. Gehaltsunterschiede der Milieus an Stickstoff und an organischer Materie, sowie die Natur des Humus und die Textur der Böden sind die Hauptursachen der beobachteten Unterschiede in der Verteilung der hauptsächlichlichen Formen des Stickstoffes.

РЕЗЮМЕ

К изучению влияния условий среды на распределение азота почв.

I. Главные формы азота полученные с помощью гидролиза.

Ж. ДЖО.

92 образца почв и горизонтов различных областей Франции и Камеруна, различающихся по характеру их механического состава и по способам окультуривания, были подвержены солянокислому гидролизу. Распределение главных полученных форм азота (аминная, аммонийная и нерастворимая формы) было изучено в связи с педологическо-климатическими условиями, а также и с условиями культуры.

Климатические условия в которых находятся данные почвы (почвы Франции, почвы Камеруна), расположение горизонтов в профилях, педологическая природа среды и способы окультуривания обуславливают распределение главных фракций азота почв. В почвах субэкваториального климата пропорция аммонийного азота более велика $\left(\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 43,3\right)$ а процент нерастворимого азота — более низок $\left(\frac{N_i}{N_t} \times 100 = 10,7\right)$

чем в почвах умеренного климатического пояса ($\frac{N_{NH_3}}{N_t} \times 100 = 32,2$; $\frac{N_i}{N_t} \times 100 = 20,5$); процент аммонийного азота удобрённых почв, также превышает тот-же процент удобрённых почв (35,8 % и 30,3 %); в профилях неоподзоленных почв, с увеличением глубины, отмечается уменьшение градиента пропорции аминного азота; это возмещается обратной тенденцией аммонийного азота; в подзолистых почвах — напротив, пропорция аминного азота увеличивается по мере увеличения глубины, в то время как пропорция нерастворимого азота — уменьшается.

Автор исследовал происхождение наблюдавшегося явления и пришел к заключению что различия в содержании азота и органического вещества в среде, также как и в природе гумуса и механического состава почв, являются главными причинами наблюдавшихся разниц в распределении в них главных форм азота.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BREMNER J. M., 1949. Studies on soil organic matter. I. The chemical nature of soil organic nitrogen. *J. Agric. Sci.*, **39**, 183-193.
- BREMNER J. M., 1950. The amino-acid composition of the protein material in soil. *Biochem J.*, **47**, 538-542.
- CHENG H. H., VAN HOVE J., 1964. Characterization of organic matter in European soils by nitrogen fractionation. *Pédologie*, **14** (1), 8-23.
- CLARK P. J., 1952. An extension of the coefficient of divergence for use with multiple characters. *Copeia*, 61-64.
- CZEKANOWSKI J., 1932. Coefficient of racial likeness und Durchschnittliche Differenz. *Anthropologischer Anzeiger Jahrgang*, **9**, 227-249.
- DECAU J., FIORAMONTI S., MALTERRE H., 1962. Teneurs des sols de la Haute-Garonne en matières organiques. *Ann. agron.*, **13** (4), 347-362.
- DHARIWAL A. P. S., STEVENSON F. J., 1958. Determination of fixed ammonium in soils. *Soil Sci.*, **86**, 343-349.
- DROUINEAU G., LEFEVRE G., 1949. Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. *Ann. agron.*, **19**, 518-536.
- DUCHAUFOUR Ph., 1960. *Précis de Pédologie*. Masson et C^{ie}, éd.
- DUGAIN F., 1960. Étude sur la fertilité des sols de la plaine bananière du Cameroun. *Fruits*, **15**, n° 4, 153-170.
- FLAIG W., 1963. The chemistry of humic substances. Symp. *The use of isotopes in soil organic matter studies*, p. 103-127.
- HIERNAX J., 1964. La mesure de la différence morphologique entre populations pour un ensemble de variables. *L'anthropologie*, **68**, 5-6, 559-567.
- HIERNAX J., 1965. Une nouvelle mesure de distance anthropologique entre populations utilisant simultanément des fréquences génétiques, des pourcentages de traits descriptifs et des moyens métriques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **260**, 1748-50.
- JACQUIN E., JUSTE C., DUREAU P., 1965. Contribution à l'étude de la matière organique des sols sableux des Landes de Gascogne. *C. R. Acad. Agr., Fr.*, 1190-1197.
- JENNY H., 1928. Relation of climatic factors to the amount of nitrogen in soils. *J. Amer. Soc. Agron.*, **20**, 900-12.
- JENNY H., 1965. Soil nitrogen and its dependence on locality factors. *Pfl. Ernähr. Düng.*, **109**, 97-112, (G); in *Soils and Fert.*, 1965, 3638.
- KEENEY D. R., BREMNER J. M., 1964. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **28**, 5, 653-6.
- KENDALL M. G., STUART A., 1966. *The advanced theory of statistics*, 3. Design and analysis, and time series. London Griffin, 552 p.
- MAHALANOBIS P. C., 1936. On the generalized distance in statistics. *Proc. nation. Inst. Sci. India*, **2**, 49-55.
- MALTERRE H., ALABERT M., 1963. Nouvelles observations au sujet d'un mode rationnel de classement des textures des sols et des roches meubles. Pratique de l'interprétation des analyses physiques. *Bull. Assoc. Fr. Ét. Sol.*, **2**, 76-85.

- MATTSON S., KOUTLER-ANDERSSON E., 1943. The acid-base equilibrium in vegetation, straw and humus. VI. NH_3 fixation and humus N. *Lantbruks Högskol. Ann.*, **11**, 107-34.
- MONNIER G., TURC L., JEANSON-LUUSINANG C., 1962. Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. agron.*, **13**, 55-63.
- MOREL R., RICHARD A., MASSON P., 1956. Évolution du taux de matière organique du sol sous le climat parisien. VI^e Congr. Sci. Sol., **2**, 805-810.
- PEDRO C., 1964. Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse, Paris, Sér. 4164, n° 5015.
- PENROSE L. S., 1954. Distance, size and shape. *Ann. Eugenics.*, **18**, 337-34.
- SCHREINER O., SHOREY E. C., 1910. The presence of arginine and histidine in soils. *J. biol. Chem.*, **8**, 381-384.
- STEVENSON F. J., 1956 a. Isolation and identification of some amino compounds in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **20**, 201-204.
- STEVENSON F. J., 1956 b. Distribution of the forms of nitrogen in some soil profiles. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **20**, 283-287.
- STEVENSON F. J., 1957. Investigations of aminopolysaccharides in soils. I. Colorimetric determination of hexosamines in soil hydrolysates. *Soil Sci.*, **83**, 113-122.
- VAN SLYKE D. D., 1911. A method for quantitative determination of aliphatic aminogroups. *J. biol. Chem.*, **9**, 185-204.
- VAN SLYKE D. D., 1912. The analysis of proteins by determination of the chemicals groups characteristic of the different amino acids. *J. biol. Chem.*, **10**, 15-55.
- VAN SLYKE D. D., 1915. Improvements in the method for analysis of proteins by determination of the chemical groups characteristic of the different amino-acids. *J. biol. Chem.*, **22**, 281-285.
- VESSEREAU A., 1948. *Méthodes statistiques en biologie et en agronomie*. Baillères, éd.

